

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 2000336403 A

(43) Date of publication of application: 05.12.2000

(51) Int. Cl. B22F 3/105
B29C 67/00, C04B 35/64

(21) Application number: 11146777
(22) Date of filing: 26.05.1999

(71) Applicant: MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD
(72) Inventor: TAKENAMI MASATAKA
FUWA ISAO
MACHIDA SEIZO
ABE SATOSHI
URATA NOBORU

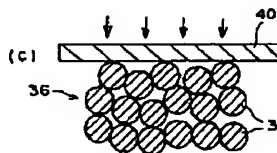
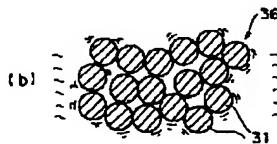
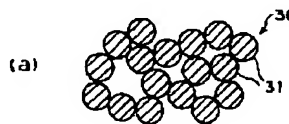
(54) PRODUCTION OF SHAPED PART WITH THREE DIMENSIONAL FORM

(57) Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily obtain a dense, high precision shaped part in a method of producing a shaped part with three dimensional form by laminating laser beam hardened layers of powder.

SOLUTION: An inorganic or organic powder material is irradiated with laser beam to form a hardened layer, and one hardened layer is laid on another to produce the desired parts of three dimensional form. This method includes steps of: (a) feeding a powder material 31 to the shaping region where a hardened layer is formed by laser beam irradiation; (b) applying vibration to the powder material 31 fed to the shaping region; (c) applying pressure to the powder material 31 fed to the shaping region; and (d) forming a hardened layer by irradiating the powder material 31 with laser beam after the steps (b) and (c).

COPYRIGHT: (C)2000,JPO



BEST AVAILABLE COPY

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-336403

(43)Date of publication of application : 05.12.2000

(51)Int.Cl.

B22F 3/105
B29C 67/00
C04B 35/64

(21)Application number : 11-146777

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRIC WORKS LTD

(22)Date of filing : 26.05.1999

(72)Inventor : TAKENAMI MASATAKA

FUWA ISAO

MACHIDA SEIZO

ABE SATOSHI

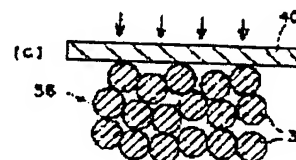
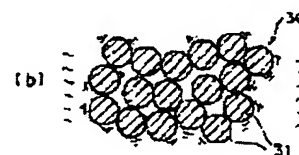
URATA NOBORU

(54) PRODUCTION OF SHAPED PART WITH THREE DIMENSIONAL FORM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To easily obtain a dense, high precision shaped part in a method of producing a shaped part with three dimensional form by laminating laser beam hardened layers of powder.

SOLUTION: An inorganic or organic powder material is irradiated with laser beam to form a hardened layer, and one hardened layer is laid on another to produce the desired parts of three dimensional form. This method includes steps of: (a) feeding a powder material 31 to the shaping region where a hardened layer is formed by laser beam irradiation; (b) applying vibration to the powder material 31 fed to the shaping region; (c) applying pressure to the powder material 31 fed to the shaping region; and (d) forming a hardened layer by irradiating the powder material 31 with laser beam after the steps (b) and (c).



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 23.04.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3551838

[Date of registration] 14.05.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision]

of rejection]

[Date of extinction of right]



Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-336403
(P2000-336403A)

(43) 公開日 平成12年12月5日 (2000.12.5)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード (参考)
B 2 2 F 3/105		B 2 2 F 3/10	N 4 F 2 1 3
B 2 9 C 67/00		B 2 9 C 67/00	4 K 0 1 8
C 0 4 B 35/64		C 0 4 B 35/64	D

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-146777

(22) 出願日 平成11年5月26日 (1999.5.26)

(71) 出願人 000005832

松下電工株式会社

大阪府門真市大字門真1048番地

(72) 発明者 武南 正孝

大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

(72) 発明者 不破 勲

大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工株式会社内

(74) 代理人 100073461

弁理士 松本 武彦

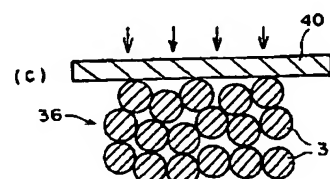
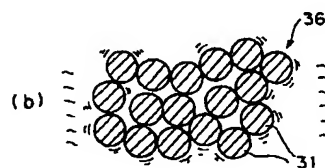
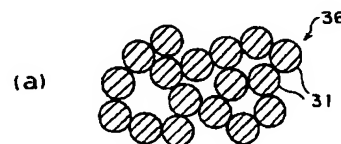
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 三次元形状造形物の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 粉末の光レーザ硬化層を積層して三次元形状造形物を製造する方法において、緻密で精度の高い造形物を容易に得る。

【解決手段】 無機質あるいは有機質の粉末材料に光ビームを照射して硬化層を形成し、この硬化層を積み重ねて所望の三次元形状部品を製造する方法において、光ビームを照射して硬化層を形成する造形領域に粉末材料31を供給する工程(a)と、造形領域に供給された粉末材料31に振動を加える工程(b)と、造形領域に供給された粉末材料31に圧力を加える工程(c)と、工程(b)および工程(c)の後、粉末材料31に光ビームを照射して硬化層を形成する工程(d)とを含む。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】無機質あるいは有機質の粉末材料に光ビームを照射して硬化層を形成し、この硬化層を積み重ねて所望の三次元形状造形物を製造する方法において、光ビームを照射して硬化層を形成する造形領域に粉末材料を供給する工程(a)と、

前記造形領域に供給された粉末材料に振動を加える工程(b)と、

前記造形領域に供給された粉末材料に圧力を加える工程(c)と、

工程(b)および工程(c)の後、前記粉末材料に光ビームを照射して硬化層を形成する工程(d)とを含む三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 2】請求項 1 の方法において、前記工程(d)が、前記造形領域を非酸化性雰囲気にする三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 3】請求項 2 の方法において、前記造形領域を外部空間に対して正圧に維持する三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 4】請求項 1～3 の方法において、前記工程(b)が、前記造形領域を構成する部材を振動させて前記粉末材料に振動を加える三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 5】請求項 1～4 の方法において、前記工程(b)が、前記造形領域の開放された表面に加振部材を配置し、加振部材が発生する振動を前記粉末材料に加える三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 6】請求項 1～5 の方法において、前記工程(b)が、超音波振動子が発生する振動を前記粉末材料に加える三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 7】請求項 1～6 の方法において、前記工程(b)が、偏心回転体が発生する振動を前記粉末材料に加える三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 8】請求項 1～7 の方法において、前記工程(c)が、前記造形領域の開放された表面に加圧部材を配置し、加圧部材で前記粉末材料を押圧して圧力を加える三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 9】請求項 1～8 の方法において、前記工程(c)が、前記造形領域の開放された表面に配置された加圧部材を、前記表面に沿って移動させながら前記粉末材料を押圧して圧力を加える工程(c-1)と、前記加圧部材とともに移動し、加圧部材の後方に配置された高さ規制部材で前記粉末材料の高さ位置を規制する工程(c-2)とを含む三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 10】請求項 1～9 の方法において、前記工程(c)が、圧力センサで前記粉末材料に生じる圧力を検知し、検知された圧力情報に基づいて粉末材料に加える圧力を制御する三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 11】請求項 1～10 の方法において、

前記工程(a)が、粒径の異なる複数種類の粉末材料を供給する三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 12】請求項 11 の方法において、複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、平均粒径 5～10 μm の比較的細かい粉末材料であり、別の 1 種類が、平均粒径 20～40 μm の比較的粗い粉末材料である三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 13】請求項 11 または 12 の方法において、前記工程(a)が、比較的粒径の粗い粉末材料を供給する工程(a-1)と、工程(a-1)の後で比較的粒径の細かい粉末材料を供給する工程(a-2)とを含む三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 14】請求項 11～13 の方法において、前記工程(a)が、比較的粒径の粗い粉末材料と比較的粒径の細かい粉末材料との混合粉末を供給する工程(a-3)と、工程(a-3)の後で比較的粒径の細かい粉末材料を供給する工程(a-4)とを含む三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 15】請求項 11～14 の方法において、前記工程(a)が、粒径と材質が異なる複数種類の粉末材料を供給する三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 16】請求項 15 の方法において、複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、銅、青銅およびリン銅からなる群から選ばれる何れか 1 種以上の材料からなる比較的粒径の粗い粉末材料であり、別の 1 種類が、鉄、ニッケルからなる群から選ばれる何れか 1 種以上の材料からなる比較的粒径の細かい粉末材料である三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 17】請求項 11 の方法において、複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、比較的粒径が細かく融点が高い粉末材料であり、別の 1 種類が、比較的粒径が粗く融点が高い粉末材料である三次元形状造形物の製造方法。

【請求項 18】請求項 17 の方法において、比較的粒径が細かく融点が高い粉末材料が、銅、青銅およびリン銅からなる群から選ばれる何れか 1 種以上の材料であり、比較的粒径が粗く融点が高い粉末材料が、鉄、ニッケルからなる群から選ばれる何れか 1 種以上の材料である三次元形状造形物の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、三次元形状造形物の製造方法に関し、詳しくは、光ビームを利用して無機質または有機質の粉末を層状に連続的に硬化させて製造する三次元形状造形物の製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】金属などの無機質粉末あるいは樹脂などの有機質粉末を堆積させ、そこにレーザーや指向性エネルギービームなどの光ビームを照射して硬化させ、このような操作を繰り返すことで硬化物を積層させて三次元形

状造形物を製造する方法が知られている。光ビームが照射された部分は硬化して一体化し、光ビームが照射されない部分は粉末のままで残るので、最終的に堆積した粉末材料の中から硬化物を取り出し、硬化していない粉末を除去してしまえば、目的とする三次元形状造形物が得られる。

【0003】製造工程や製造装置などの具体的技術が、特許第2620353号公報に開示されている。上記方法は、通常の鋳造や機械加工では製造できないような複雑で精密な形状の部品を効率的に製造できるという利点がある。また、部品のCAD設計データなどの電子情報をもとにして光ビームの走査を電子的に制御するだけで、任意の形状を有する部品が直ちに製造できる。従来の粉末焼結技術のように、予め粉末を成形しておく手間や設備も必要ない。このような利点を生かす用途として、大量生産の前の試作品の製造、少数製造の精密部品の生産、金型の生産などが考えられている。

【0004】特開平10-88201号公報には、堆積させた粉末材料層に圧力を加えて圧縮したあとレーザー光を照射することで中間成形体を成形し、この中間成形体を焼結することで緻密な成形体を製造する技術が示されている。粉末材料層を加圧することで、粉末同士の間

【0005】

【発明が解決しようとする課題】前記した粉末材料層を加圧する方法でも、粉末材料層の隙間を無くして緻密な構造の成形体を得ることは難しい。無秩序に堆積した粉末材料層には、複数の粉末が互いに当接した状態で、その間に隙間空間が出来る。粉末材料層をその厚み方向に加圧することで、隙間空間の周囲の粉末が隙間内に落ち込むように移動することができれば、隙間空間を解消することができる。しかし、隙間空間を囲む粉体同士が互いに当接した状態で身動きが出来ないような状態、あるいは、いわゆるブリッジやアーチを構成しているような状態になっていると、粉末材料層をいくら加圧しても隙間空間を十分に解消させることができない。

【0006】粉末材料層に隙間が多く存在していると、成形品の緻密さが低下して、機械的強度などの性能が低下する。成形品を焼結させたときに、粉末材料が溶融して隙間に落ち込むようなことが起きると、成形品の外形が変形してしまって、成形精度が損なわれる。また、前記のような隙間を強制的に破壊できる程の大きな圧力を加えるには、加圧装置が大掛かりになり製造コストが増大する。しかも、過大な圧力が加わった粉末材料は破壊されたり変形したりして、成形品の品質性能に悪影響を与えることになる。

【0007】本発明が解決しようとする課題は、前記した粉末の光レーザー硬化層を積層して三次元形状を製造する方法において、従来技術が有する問題点を解消し、緻

密で精度の高い造形品を容易に得ることである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明にかかる三次元形状造形物の製造方法は、無機質あるいは有機質の粉末材料に光ビームを照射して硬化層を形成し、この硬化層を積み重ねて所望の三次元形状造形物を製造する方法において、光ビームを照射して硬化層を形成する造形領域に粉末材料を供給する工程(a)と、造形領域に供給された粉末材料に振動を加える工程(b)と、造形領域に供給された粉末材料に圧力を加える工程(c)と、工程(b)および工程(c)の後、粉末材料に光ビームを照射して硬化層を形成する工程(d)とを含む。

【粉末材料】通常の三次元造形物製造に利用される金属、金属合金、合成樹脂、セラミック、ガラスその他の無機質あるいは有機質の粉末材料が使用できる。

【0009】金属材料として、ニッケル、リン銅、鉄、銅、青銅などが挙げられる。硬化層を構成する粉末材料は、1種類の粉末材料だけであってもよいし、複数種類の粉末材料を組み合わせることもできる。粉末材料の形状は、球形、多面体形、柱形、鱗片形、不定形その他の通常の粉末形状が適用できる。

【0010】粉末材料の粒径は、材質あるいは造形品の使用目的などによっても異なるが、平均粒径5~40μm程度のものが用いられる。粉末材料として、比較的粗い粒径のものと細かい粒径のものを組み合わせることができる。具体的には、平均粒径5~10μmの細かい粉末と、平均粒径20~40μmの粗い粉末を組み合わせることができる。

【造形領域】粉末材料は、造形台の上、あるいは、底面と周囲が囲まれた容器状の造形空間からなる造形領域に供給されて、造形領域で光ビームが照射されて硬化層および硬化層の積層体である造形品が形成される。

【0011】造形領域を、上面が開放された容器状の造形枠と、造形枠の内部で昇降自在な造形台とで構成することができる。造形領域は、造形品の外周形状と同じ内形状を有するものであってもよいが、通常は、造形品の外周形状よりも少し大きな内形状を有している。

【粉末材料の供給】通常の粉末供給手段が適用される。ホッパーなどに貯留された粉末材料を、自重あるいは空気圧などを利用して、ノズルやスリットから造形領域に供給する。

【0012】粉末材料を層状に堆積させるために、ノズル等の供給手段を移動させながら粉末材料を供給することができる。堆積された粉末材料層の上方に板状の高さ規制部材などを移動させて、粉末材料層の表面を平坦かつ一定の厚みに規制することができる。

【加振工程】通常の機械装置や粉体の取扱技術における加振機構や加振装置を使用して、造形領域に供給された粉末材料層に振動を加える。

【0013】加振機構の具体例として、超音波振動子、

偏心回転体が挙げられる。加振機構の設置場所は、粉末材料層に目的の振動を効率的に加えることができれば良く、造形領域の壁面を構成する部材、粉末材料層を堆積させる造形台などが利用できる。粉末材料層の上面に加振機構を備えた部材を当接させて振動を与えることもできる。後述する加圧機構と加振機構とを兼用することもできる。

【0014】振動条件は、粉末材料層の内部に有する隙間が十分に解消される強さおよび時間が適用される。具体的には、粉末材料の材質、層の厚みや面積などの条件によって適宜に設定できる。

【加圧工程】粉末材料層を厚み方向に加圧できれば、通常の機械装置における加圧機構や加圧装置が使用できる。

【0015】具体的には、粉末材料層の上面に加圧板を押し当てて上方から下方に加圧してもよいし、加圧板は固定しておき、粉末材料層を支持する造形台を上昇させることで上面の加圧体との間に粉末材料層を挟み込んで加圧してもよい。加圧板の下降と造形台の上昇の両方を行ってもよい。加圧圧力は、粉末材料の材質や粒径、厚みあるいは要求性能などの条件によって異なるが、例えば、1~100kPaの範囲で圧力を設定できる。

【0016】加圧工程は、加振工程が終了してから行っても良いし、加圧工程と加振工程を同時に行うこともできる。加圧板に加振機構を組み込んでおけば、加圧と加振を連続的あるいは同時に行うことができる。加圧と加振を交互に複数回繰り返すこともできる。

【光ビーム照射工程】加振および加圧が行われた粉末材料層に、通常のレーザ造形技術と同様の装置および手段で光ビームを照射すれば硬化層が形成できる。

【0017】光ビームを照射する粉末材料層の厚みは、目的とする造形品の形状精度や光ビームの硬化能力などを考慮して設定される。粉末材料の供給量、加振および加圧の程度によって粉末材料層の厚みが決定される。粉末材料の供給、加振および加圧の工程を複数回繰り返して、所定厚みの粉末材料層を形成してもよい。光ビームを照射する粉末材料層の具体的な厚み条件として、0.05~0.2mm程度が採用される。

【0018】光ビームとして、YAGレーザ、CO₂レーザなどのレーザ光が好ましい。光ビームは、粉末材料層の表面に直接に照射してもよいし、粉末材料層の表面にガラスなどからなる透明板を配置した状態で、透明板の外から粉末材料層に光ビームを照射することもできる。透明板で粉末材料層を加圧しておけば、加圧と光ビームの照射を同時に行うこともできる。

【0019】光ビームの照射条件は、粉末材料層の全体もしくは一部が溶融または軟化して、粉末材料層が一体化された硬化層になれば良く、具体的な光強度や照射時間などの照射条件は適宜に設定できる。粉末材料層に対して光ビームの照射位置を走査することで、所望の形状

を有する硬化層が形成できる。

【0020】粉末材料層を透明材料からなる加圧板で加圧した状態のままで、光ビームの照射を行えば、加圧後に粉末材料層の隙間が復元したり拡大したりすることを防止して、緻密化したままの粉末材料層を硬化させることができる。

【造形品の製造】上記した粉末材料層の供給、加振、加圧および光ビームの照射を繰り返すことで、複数層の硬化層が積層された造形品が得られる。形状の異なる硬化層を積層することで、所望の三次元形状を有する造形品となる。

【0021】造形領域には、硬化層の積層体である造形品とその周囲に残存する未硬化の粉末材料が存在するので、造形品の周囲の粉末材料を除去するか、粉末材料内から造形品だけを取り出す。造形品は、そのまま各種用途に利用することができるが、さらに、焼結工程を行ったり、外形の仕上げ加工を行ったりすることもできる。

【その他の発明】工程(d)で、造形領域を非酸化性雰囲気にすることができる。

【0022】造形領域を外部空間に対して正圧に維持することができる。工程(b)で、造形領域を構成する部材を振動させたり、造形領域の開放された表面に加振部材を配置し、加振部材が発生する振動を粉末材料に加えたり、超音波振動子が発生する振動を粉末材料に加えたり、偏心回転体が発生する振動を粉末材料に加えたりすることができる。

【0023】工程(c)で、造形領域の開放された表面に加圧部材を配置し、加圧部材で粉末材料を押圧して圧力を加えることができる。工程(c)で、移動する加圧部材で圧力を加える工程(c-1)と、高さ規制部材で粉末材料の高さ位置を規制する工程(c-2)とを含んでいることができる。工程(c)で、圧力センサの検知情報に基づいて圧力を制御することができる。

【0024】工程(a)で、粒径の異なる複数種類の粉末材料を供給することができる。複数種類の粉末材料のうちの1種類が、平均粒径5~10μmの比較的に細かい粉末材料であり、別の1種類が、平均粒径20~40μmの比較的に粗い粉末材料であることができる。工程(a)で、粗い粉末材料の供給工程(a-1)と、工程(a-1)の後で細かい粉末材料の供給工程(a-2)とを含んでいることができる。

【0025】工程(a)で、粗い粉末材料と細かい粉末材料との混合粉末の供給工程(a-3)と、工程(a-3)の後で細かい粉末材料の供給工程(a-4)とを含んでいることができる。工程(a)で、粒径と材質が異なる複数種類の粉末材料を供給したり、特に、複数種類の粉末材料のうちの1種類が、銅、青銅およびリン銅からなる群から選ばれた何れか1種以上の材料からなる比較的に粒径の粗い粉末材料であり、別の1種類が、鉄、ニッケルからなる

群から選ばれる何れか1種以上の材料からなる比較的粒径の細かい粉末材料であることができる。

【0026】複数種類の粉末材料のうちの1種類が、比較的粒径が細かく、銅、青銅およびリン銅などの融点が高い粉末材料であり、別の1種類が、比較的粒径が粗く鉄、ニッケルなどの融点が高い粉末材料であることができる。

【0027】

【発明の実施の形態】〔基本的製造工程〕図1～図6に、基本的な製造工程を示している。図1に示すように、上面が開放された容器状をなす造形枠10には、内部で昇降自在な造形台12を備えている。造形台12の上には、造形品を載せて取り扱うための載置板14が配置される。造形枠10の側壁および載置板14には、超音波振動子を備えた加振部20が内蔵されている。

【0028】造形枠10の内部で載置板14の上には、既に作製された硬化層32が複数層積み重ねられている。硬化層32の周囲には未硬化の粉末材料34が存在している。造形台12の上下位置を調整することで、硬化層32および未硬化粉末材料34の表面が、造形枠10の上端よりも少し低い位置になるように配置する。造形枠10と硬化層32の表面との間隔が、次に作製される硬化層32の厚みを決める。

【0029】図2に示すように、先に形成された硬化層32および未硬化粉末材料34の上に、新たな粉末材料30を供給する。造形枠10を横断する幅板状の規制部材16を造形枠10よりも少し高い位置で水平方向に移動させて、粉末材料30の高さ位置を規制し、全体が一定の厚みを有する粉末材料層36とする。粉末材料層36の上面は造形枠10の上端よりも少し高い位置になる。

【0030】図3に示すように、加振部20を作動させると、造形枠10の内部の粉末材料層36に振動が加わり、粉末材料層36の内部に存在する微細な隙間が減っていく。したがって、粉末材料層36の厚みも少し薄くなる。図4に示すように、加振部20の作動を止めたあと、粉末材料層36の上面に加圧板40を配置し、加圧板40を降下させて粉末材料層36を上から下へと加圧する。加圧によって粉末材料層36の内部に存在する微細な隙間はさらに減少して、粉末材料が緻密に配置された状態になる。粉末材料層36の厚みはさらに薄くなっているが、粉末材料層36の上面は、まだ造形枠10の上端よりは少し高い位置にある。

【0031】なお、上記工程で、加振部20の作動を止めずに、加振部20による加振と同時に加圧板40による加圧を行うこともできる。また、加圧板40に加振部20を内蔵させておけば、粉末材料層36に直接に当たっている加圧板40で振動を加えることができ、効率の良い加振および加圧が可能である。図5に示すように、規制部材16を造形枠10の上端に沿って水平移動させ

ると、粉末材料層36の上面は造形枠10と同じ高さになり、目的の厚みを有する緻密な粉末材料層36が得られる。規制部材16で排除された余分の粉末材料は回収して再利用することができる。

【0032】図6に示すように、粉末材料層36の表面にビーム状のレーザー光50を照射すると、その部分の粉末材料の全体あるいは一部が溶融して粉末材料同士が一体的に接合されて、硬化層32が形成される。粉末材料が溶融硬化する際には、粉末材料層36の下方に存在する、先に形成された硬化層32とも接合一体化されるので、新たに形成された硬化層32は下方に積層された硬化層32…と一体化することになる。

【0033】レーザー光50を水平方向に走査することで、所定のパターン形状を有する硬化層32が得られる。上記のような工程を繰り返すことで、所定のパターン形状を有する硬化層32が複数層積層された三次元形状を有する造形物が得られる。硬化層32すなわち造形物の周囲には未硬化粉末材料34が残留しているので、造形枠10の内部から造形物だけを取り出すことができる。造形台12を造形枠10の上方まで持ち上げて、造形物を載置台14に載せた状態で取り出すこともできる。

【粉末材料の挙動】図7は、前記製造工程における粉末材料の挙動を模式的に示している。

【0034】図7(a)は、供給された段階の粉末材料層36を表し(図2の工程に相当)、個々の粉末31が無秩序に配置されている。そのため、粉末材料層36の内部には、比較的大きな隙間空間が存在している。図7(b)に示すように、粉末材料層36に振動を加えると(図3の工程に相当)、個々の粉末31が前後左右に細かく振動することで、粉末31の自重や互いの衝突の作用で、粉末31が前記した隙間に落ち込んだり隙間を埋めるような作用が生じる。その結果、隙間空間は徐々に減少していく。但し、振動を加えるだけでは、隙間がある程度まで減少したあとは、それ以上は隙間を減少させることはできない。

【0035】図7(c)に示すように、粉末材料層36の上面に加圧板40を配置して加圧すると(図4の工程に相当)、前記振動に比べて大きな力で粉末31同士の隙間を埋める作用が生じるので、隙間はさらに減少し、緻密な粉末材料層36が得られる。なお、図7(a)の状態では、加振せずに加圧板40を配置して加圧を行った場合には、ある程度は隙間を無くすることはできるが、複数の粉末31で構成するブロック状の構造が隙間空間を囲んでトラスやドームを構成しているような個所では、粉末31同士が当接して互いの間に強い抵抗力が働くので、1方向からの圧力をかけただけでは、隙間を十分に無くすることは困難である。しかし、このような個所でも、振動を与えると、個々の粉末31をバラバラに動かすことになるので、強固な隙間構造を崩壊させることができ

る。

【0036】言い換えると、比較的に小さな力で粉体 31 を無秩序に動かす振動と、比較的に大きな力で粉体 31 を一定方向に動かす加圧との両方の作用が相乗的に加わることで、粉末材料層 36 に存在する隙間が効率的に解消されて、緻密な粉末材料層 36 が得られる。

〔偏心回転体〕図 8 および図 9 に示す実施形態は、加振機構として、前記実施形態の超音波振動子の代わりあるいはそれに加えて、偏心回転体を利用した加振機構を備えておく。

【0037】図 9 に示すように、モータ 23 の回転軸 25 に偏心盤 24 を装着している。偏心盤 24 は、全体が円形状をなすとともに、回転軸 25 への取付位置が偏心盤 24 の中心ではなく少し外れた位置になっている。モータ 23 を作動させて偏心盤 24 を回転させると、偏心盤 24 の重量あるいは慣性力が回転軸 25 に対して不均等に加わり、装置全体が振動を起こすことになる。振動の周期および振幅は、偏心盤 24 の回転数および偏心盤 24 の偏心量によって設定される。

【0038】図 8 示すように、前記のようなモータ 23 および偏心盤 24 を内蔵する加振装置 22 を、造形台 12 や加圧板 40 の背面に設置しておけば、加振装置 22 で発生する振動を粉末材料層 36 に伝達することができる。

〔圧力制御〕図 10 に示す実施形態は、粉末材料層 36 に加える圧力を正確に制御する。

【0039】加圧板 40 には、粉末材料層 36 と接触する下面に圧力センサ 42 を備えている。圧力センサ 42 は、加圧板 40 を作動させたときに、粉末材料層 36 に加わる圧力を検知する。圧力センサ 42 で検知された圧力情報は、加圧板 40 の外部に設けられたコンピュータ 44 に伝達される。コンピュータ 44 は、加圧板 40 の昇降させるアクチュエータなどの作動機構および造形台 12 を昇降させる作動機構を電氣的に制御できるようにになっている。

【0040】加圧板 40 で粉末材料層 36 を加圧する工程で、加圧板 40 を下降させながら、圧力センサ 42 で検出される圧力が所定の値を超えるまでは、加圧板 40 の下降を続ける。圧力センサ 42 の検知圧力が所定値を超えれば、加圧板 40 の作動を止めて、その位置で加圧板 40 を維持しておく。なお、加圧板 40 で粉末材料層 36 を加圧すると同時に、造形台 12 にも上昇方向の圧力を発生させることで、加圧板 40 の圧力で造形台 12 が下降してしまうことを防げる。また、粉末材料層 36 を上下からの圧力で効率的に加圧することができる。コンピュータ 44 では、圧力センサ 42 からの検知圧力をもとにして、加圧板 40 と造形台 12 の作動量あるいは加圧力を適切な値に制御する。

【0041】なお、加圧工程においては、最初の段階では比較的に小さな圧力を加えて、隙間の解消をスムーズ

に行い、隙間の解消がある程度進んだ後では比較的に大きな圧力を加えて、隙間の完全な解消を図るなどといったように、加圧力の経時的な調整制御を行うこともできる。上記のようにして粉末材料層 36 に加わる圧力を適切に制御すれば、粉末材料層 36 を確実かつ効率的に緻密化することができる。

〔真空吸引〕図 11 に示す実施形態は、真空力を利用して粉末材料層 36 に圧力を加える。

【0042】造形枠 10 のうち、造形台 12 の背面空間に真空吸引口 62 を設ける。真空吸引口 62 は、造形枠 10 の外部に設置された真空ポンプ 60 に接続されている。真空ポンプ 60 を作動させることで、造形台 12 の背面空間の空気を排出して負圧にする。なお、造形台 12 の上方空間と背面空間とは空気の流通が可能になっており、背面空間が負圧になれば、造形台 12 の上方の空間も負圧になる。

【0043】造形枠 10 の上端には、ガラス等の透明板 46 を配置しておく。この状態で、真空ポンプ 60 を作動させると、造形枠 10 の内部空間が負圧になる。透明板 46 は造形枠 10 の上面に吸着されて密着する。この透明板 46 の運動は、透明板 46 を機械的に下降させて粉末材料層 36 を加圧するのと同じ作用を与える。粉末材料層 36 の内部においては、内部の隙間空間に存在する空気が吸い出されて負圧になることで、隙間に粉末が入り込んで隙間が埋められる。

【0044】透明板 46 が配置されたままで、透明板 46 の外から粉末材料層 36 にレーザー光 50 を照射すれば、粉末材料層 36 が硬化して硬化層 32 が形成される。この場合、前記した真空ポンプ 60 の作動によって、粉末材料層 36 の隙間を無くして緻密化した状態のままで、レーザー光 50 の照射による硬化が進行するので、緻密な硬化層 32 が形成できる。

【0045】加圧板 40 による加圧を行って粉末材料層 36 を緻密化していても、加圧板 40 を取り除くと、個々の粉末 31 が有する復元力で再び隙間が広がったりすることがあるが、透明板 46 を真空吸着させておけば、このような隙間の再発生や再拡大が生じることなく、粉末材料層 36 は緻密化されたままで硬化する。なお、透明材料からなる加圧板 40 を粉末材料層 36 の上方から押圧したままの状態、レーザー光 50 を照射による硬化層 32 を形成を行っても、粉末材料層 36 に隙間が再発生したり再拡大したりすることが防止できる。

【0046】加圧板 40 による押圧と真空ポンプ 60 による真空吸引との両方の手段を併用して、粉末材料層 36 を加圧して緻密化することもできる。

〔粒径の異なる粉末〕図 12 に示す実施形態は、粉末材料 30 として、比較的に粒径の粗い粉末 31a と、比較的に粒径の細かい粉末 31b とを併用する。

【0047】図 12 (a) に示すように、粉末材料供給工程 (図 2 参照) で、まず、粗い粉末 31a を所定の厚み

で供給したあと、細かい粉末31bを所定量だけ供給する。この状態では、粗い粉末31aの層と細かい粉末31bの層とが上下に分かれた状態である。粗い粉末31a同士の間には比較的に大きな隙間があいた状態になっている。

【0048】図12(b)に示すように、加振工程(図3参照)で、粉末材料層36に振動を加えると、細かい粉末31bは自重によって粗い粉末31aの間を落ちていき、粗い粉末31aの隙間を埋めることになる。その結果、粉末材料層36は、粗い粉末31aと細かい粉末31bとが混合された状態になるとともに、両者が隙間なく緻密に配置された状態になる。なお、粗い粉末31aの隙間を埋めて残った細かい粉末31bは、粗い粉末31aの層の上に一定の厚みで層を構成している。

【0049】図12(c)に示すように、粉末材料層36に加圧工程(図4参照)を行うか、加圧工程を行わずに、規制部材16で余分の細かい粉末31bを除去する。この状態でも、粉末材料層36の上面は細かい粉末31bが緻密に敷き詰められた状態である。このように表面に細かい粉末31bが配置されることで、形成される硬化層32の表面を滑らかで緻密なものにできる。

【0050】なお、上記高さ規制工程の前あるいは後で加圧工程を行うことで、粉末材料層36の隙間解消あるいは緻密化が一層進むことは前記同様である。上記作業の具体的な条件例を示す。細かい粉末31bとして、平均粒径5~10 μ mのニッケル粉を用いる。粗い粉末31aとして、平均粒径30 μ mのリン銅粉を用いる。粗い粉末31aと細かい粉末31bの使用割合は、重量比1:1とする。

【0051】粗い粉末31aを厚み0.08mmの層に形成したあと、その上に細かい粉末31bを厚み0.04mmの層に形成した〔図12(a)〕。加振工程、高さ規制工程、加圧工程を経て、厚み0.1mmの粉末材料層36を得た。

〔混合粉末〕図13に示す実施形態は、粉末材料30として、比較的に粒径の粗い粉末31aと、比較的に粒径の細かい粉末31bとの混合粉末を用いる。

【0052】図13(a)に示すように、粉末材料供給工程(図2参照)で、混合粉末31a、31bを供給する。粉末材料層36は、粒径の異なる2種類の粉末31a、31bが、ほぼ均等に混在している。粒径の粗い粉末31a同士が隣接している間に生じる隙間に、粒径の細かい粉末31bが嵌まり込んだ状態になるので、粒径の粗い粉末31aだけを使用する場合に比べて、隙間は減少して緻密な状態になっている。

【0053】図13(b)に示すように、加振工程(図3参照)で、粉末材料層36に振動を加えると、細かい粉末31bは自重によって粗い粉末31aの間を落ちていき、下方側に集まる。したがって、粉末材料層36の下方側では、粗い粉末31aと細かい粉末31bとが隙間

なく緻密に充填された状態になる。但し、粉末材料層36の上方側では、細かい粉末31bがなく粗い粉末31a同士が比較的に大きな隙間をあけた状態で配置される。

【0054】図13(c)に示すように、粉末材料層36の上方に、新たに細かい粉末31bだけを供給する。これによって、粉末材料層36の上方側でも、粗い粉末31aの間の隙間が細かい粉末31bで埋められて隙間がなくなる。粗い粉末31aの上端を超えて細かい粉末31bを供給することで、粉末材料層36の上面を細かい粉末31bのみで構成することができる。細かい粉末31bで構成された粉末材料層36の表面は表面粗度が小さく滑らかで緻密なものとなる。これは、前記した図12の実施形態における図12(c)と共通する形態である。その後の工程は前記実施形態と同様に行われる。

【0055】上記作業の具体的な条件例を示す。細かい粉末31bとして、平均粒径5~10 μ mのニッケル粉、粗い粉末31aとして、平均粒径30 μ mのリン銅粉を用いる。粗い粉末31aと細かい粉末31bの使用割合は、重量比1:1とする。粗い粉末31aと細かい粉末31bとの混合粉末を厚み0.07mmの層に形成し〔図13(a)〕、加振工程を行ったあと〔図13(b)〕、細かい粉末31bを厚み0.03mmの層に形成した〔図13(c)〕。最終的に厚み0.1mmの粉末材料層36が得られた。

〔融点の異なる粉末の同時溶融〕図14に示す実施形態は、細かい粉末31bと粗い粉末31aとを組み合わせるとともに、両者の融点に差を付けておく。

【0056】具体的には、細かい粉末31bの材料として、粗い粉末31aの材料よりも融点が高い材料を用いる。2種類の粉末31a、31bが混在する粉末材料層36を形成し、所定の加振工程や加圧工程を終えたあと、レーザ光50を照射する。レーザ光50が照射されたときに、粉末30の材質が同じであれば、熱容量の小さな細かい粉末のほうが、熱容量の大きな粗い粉末よりも、加熱昇温され易く速やかに溶融する。

【0057】粉末材料層36の細かい粉末31bと粗い粉末31aとに同時にレーザ光50が照射されたときには、細かい粉末31bのほうがはやく加熱昇温され、粗い粉末31aの加熱昇温は遅れることになる。しかし、細かい粉末31aは融点が高いため、粗い粉末31bに比べて高い温度になるまで溶融は開始されない。すなわち、加熱昇温の速い細かい粉末31bが高い溶融温度に到達するのと、加熱昇温が遅い粗い粉末31aが低い溶融温度に到達するのとが、同じタイミングになる。

【0058】その結果、細かい粉末31bと粗い粉末31aとが同時に溶融して一体化され、両者が一体的に溶融した硬化層32が形成される。細かい粉末31bと粗い粉末31aの具体例を示す。粗い粉末31aとして平均粒径30 μ mのリン銅、細かい粉末31bとして平均

粒径5〜10 μ mのニッケルを用いる。両者の配合割合は重量比1:1で組み合わせる。上記同様にして硬化層32を形成したところ、両方の材料が均等に溶融して一体化された硬化層32が得られた。

【0059】粗い粉末31aとして、リン銅の代わりに銅、青銅を用いることもできる。細かい粉末31aとして、ニッケルの代わりに鉄を用いることもできる。前記実施形態では、レーザー光50の照射時に、2種類の粉末31a、31bが同時に溶融するので、レーザー光50のエネルギーを効率的に利用でき、最小限のエネルギーで2種類の粉末31a、31bが均等に溶融して合金化した硬化層32が得られる。その結果、硬化層32の材質にバラツキが生じることによる反りや変形あるいは応力の発生を最小限に抑えることができ、造形物の寸法精度が向上する。

【一部粉末のみの溶融】図15に示す実施形態は、前記実施形態とは異なり、細かい粉末31bの融点が高い粉末31aの融点よりも低い条件で2種類の粉末を組み合わせる。

【0060】2種類の粉末31a、31bが混在する粉末材料層36を形成し、ここにレーザー光50を照射するのは前記実施形態と同じである。レーザー光50は、熱容量が小さく融点も低い細かい粉末31bを迅速に加熱昇温して溶融させる。この段階では、熱容量が大きく融点が高い粗い粉末31aは、それほど加熱昇温されず融点も高いので、ほとんど溶融しない。

【0061】その結果、細かい粉末31bの溶融した材料32bが、粉体状のままの粗い粉末31a同士の隙間を埋めて互いに接合させて、全体が一体化された硬化層32を形成することになる。溶融材料32bが接着剤あるいはろう材のような機能を果たすことになる。粗い粉末31aは、元の形態を保ったままであるか表面の一部のみが溶融したり軟化したりして溶融材料32bとの接合性を高めることになる。硬化層32は、両方の材料が溶融混合された合金状態ではなく、粗い粉末31aを溶融材料32aで接合した状態である。

【0062】上記実施形態では、レーザー光50のエネルギーは、溶融し易い細かい粉末31bを溶融させるだけの容量があればよいので、粉末材料層36の全体を溶融させるのに比べて、エネルギー消費が少なくなり、処理時間も短くて済む。熱による反り変形や熱応力も少なくなるので、形成される硬化物32の寸法精度も向上する。細かい粉末31bと粗い粉末31aの具体例を示す。粗い粉末31aとして平均粒径30 μ mのニッケルと鉄の混合粉末を用いる。細かい粉末31bとして平均粒径5〜10 μ mのリン銅を用いる。3者の配合割合は、ニッケル:鉄:リン銅=20:20:60(重量比)にする。上記同様にして硬化層32を形成したところ、ニッケルおよび鉄からなる粗い粉末31aが、リン銅からなる溶融材料32bで一体的に接合された硬化層32が得られ

た。

【0063】細かい粉末31bとして、リン銅の代わりに青銅を用いても同様の機能が果たせる。

【レーザー光の照射環境】図16に示す実施形態は、粉末材料層36にレーザー光50を照射して硬化層32を形成する工程の雰囲気環境を制御する。

【0064】造形枠10などの装置全体を、内部雰囲気制御できる環境室70に収容しておき、環境室70の外部から、ポンプなどの手段で所望の雰囲気ガスを供給して、内部の空気を追い出し、環境室70の雰囲気を調整する。環境室70を窒素ガスなどの不活性ガス雰囲気にすると、粉末材料層36にレーザー光50が照射されて粉末30が焼結する際の酸化が防止される。その結果、空気中で焼結した場合よりも造形物の強度が向上する。窒素ガスの代わりに、その他の不活性ガスを含む非酸化性ガスを用いても同様の機能が発揮できる。

【0065】環境室70を水素ガスなどの還元性ガス雰囲気にすると、粉末30の表面に吸着している酸素分を還元することができる。その結果、不活性ガスを用いた場合よりもさらに酸化の防止機能が高まり、形成される造形物の強度を向上させることができる。環境室70の圧力を、環境室70の外部に対して正圧に維持することができる。具体的には、外部の大気圧に対して5kgf/cm²程度高い圧力に維持することができる。

【0066】レーザー光50を照射して粉末30を硬化させる際の雰囲気圧力が高いと、粉末30の沸点が上昇し、焼結過程で発生する金属蒸気などの蒸発成分を低減できる。その結果、焼結後の強度が向上する。蒸発成分が低減できれば、レーザー光50の照射経路に配置される集光レンズ等の汚染が少なくなる。レーザー光50の照射環境を正圧に維持するのは、環境雰囲気が空気の場合にも有効であるが、前記した非酸化性ガス雰囲気の場合には、非酸化性ガスが環境室70の外部に漏れても、圧力の低い外部の大気は環境室70側に侵入し難く、大気による粉末30の酸化が確実に阻止できる。

【移動型加圧装置】図17に示す実施形態は、前記した加圧板40の代わりに移動型の加圧装置を用いる。

【0067】移動装置80は、造形枠10の上方を水平方向に移動自在に設置されている。移動装置80の進行方向の先端側には、昇降自在な加圧ブロック48を備えている。加圧ブロック48は、平坦な下面を粉末材料層36に上方から押圧することで、粉末材料層36を加圧する。加圧装置80を水平移動させながら加圧ブロック48を上下運動させることで、粉末材料層36の表面全体を加圧することができる。加圧ブロック48の昇降機構として、ピストンシリンダ機構やモータ駆動のカム機構などが採用できる。

【0068】移動装置80あるいは加圧ブロック48に加振機構を内蔵させておけば、加圧ブロック48で粉末材料層36に振動を加えることもできる。移動装置80

の進行方向に対して後端側には規制板 16 を備えている。規制板 16 の下端は、加圧ブロック 48 の最下降位置よりも低く、造形枠 10 の上端と同じ位置に設定されている。移動装置 80 が水平移動して加圧ブロック 48 による粉末材料層 36 の加圧が行われたあと、つづいて通過する規制板 16 で、粉末材料層 36 の高さ位置が設定され、余分の粉体 30 は排除される。その結果、造形枠 10 の上端位置と同じ高さの粉末材料層 36 が形成される。

【0069】上記実施形態では、移動装置 80 の作動によって、加圧工程とその後の高さ規制工程とが連続的に進められ、作業の効率化および装置の簡略化が図れる。移動装置 80 に、粉末 30 の供給機構を備えておけば、移動装置 80 の移動に伴って、粉末 30 の供給工程、加振工程、加圧工程および高さ規制工程を連続的に一連の作業として実行することもできる。

【0070】

【発明の効果】本発明にかかる三次元形状造形物の製造方法では、造形領域に供給された粉末材料に、振動を加える工程 (b) と圧力を加える工程 (c) とを行うことで、粉末材料層が隙間の少ない緻密な状態になり、その後

に光ビームを照射する工程 (d) を行うことで、最終的に得られる三次元形状造形物も緻密なものとなる。

【0071】工程 (d) で、造形領域を非酸化性雰囲気にすれば、粉末材料の酸化が防止できる。造形領域を外周空間に対して正圧に維持すれば、外気が造形領域に侵入して粉末材料の焼成を阻害するのを防止できる。工程 (b) で、造形領域を構成する部材を振動させたり、造形領域の開放された表面に加振部材を配置し、加振部材が発生する振動を粉末材料に加えたり、超音波振動子が発生する振動を粉末材料に加えたり、偏心回転体が発生する振動を粉末材料に加えたりすれば、効率的に振動を与えることができる。

【0072】工程 (c) で、造形領域の開放された表面に加圧部材を配置し、加圧部材で粉末材料を押圧して圧力を加えれば、効率的に圧力が加えられる。工程 (c) で、移動する加圧部材で圧力を加える工程 (c-1) と、高さ規制部材で粉末材料の高さ位置を規制する工程 (c-2) とを含んでいれば、粉末材料層に対する効率的な加圧と高さ規制が行える。

【0073】工程 (c) で、圧力センサの検知情報に基づいて圧力を制御すれば、適切な圧力で効率的な加圧が行える。工程 (a) で、粒径の異なる複数種類の粉末材料を供給すれば、得られる造形物の特性に変化を与えることができる。複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、平均粒径 $5 \sim 10 \mu\text{m}$ の比較的に細かい粉末材料であり、別の 1 種類が、平均粒径 $20 \sim 40 \mu\text{m}$ の比較的に粗い粉末材料であれば、両者の特性を組み合わせで発揮させることができる。

【0074】工程 (a) が、粗い粉末材料の供給工程 (a-

1) と、工程 (a-1) の後で細かい粉末材料の供給工程 (a-2) とを含んでいれば、両者の特性を良好に組み合わせることができる。工程 (a) が、粗い粉末材料と細かい粉末材料との混合粉末の供給工程 (a-3) と、工程 (a-3) の後で細かい粉末材料の供給工程 (a-4) とを含んでいれば、粉末材料層の表面を緻密で平滑にできる。

【0075】工程 (a) で、粒径と材質が異なる複数種類の粉末材料を供給したり、特に、複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、銅、青銅およびリン銅からなる群から選ばれる何れか 1 種類以上の材料からなる比較的に粗い粉末材料であり、別の 1 種類が、鉄、ニッケルからなる群から選ばれる何れか 1 種類以上の材料からなる比較的に粒径の細かい粉末材料であれば、粒径と材質の違いによる特性の組み合わせ効果が発揮できる。

【0076】複数種類の粉末材料のうちの 1 種類が、比較的に粒径が細かく、銅、青銅およびリン銅などの融点が高い粉末材料であり、別の 1 種類が、比較的に粒径が粗く鉄、ニッケルなどの融点が高い粉末材料であれば、溶融した細かく低融点の粉末材料が、溶融しない粗く高融点の粉末材料の隙間を埋めて接合一体化された造形物が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の実施形態となる製造工程のうち最初の段階を表す模式的工程図

【図 2】 粉末供給工程の模式的工程図

【図 3】 加振工程の模式的工程図

【図 4】 加圧工程の模式的工程図

【図 5】 高さ規制工程の模式的工程図

【図 6】 レーザ照射工程の模式的工程図

【図 7】 粉末材料層の形態変化を表す模式図

【図 8】 別の実施形態を表す断面図

【図 9】 偏心回転体の構造を表す正面図 (a) および側面図 (b)

【図 10】 別の実施形態を表す断面図

【図 11】 別の実施形態を表す断面図

【図 12】 別の実施形態を段階的に表す模式的断面図

【図 13】 別の実施形態を段階的に表す模式的断面図

【図 14】 別の実施形態を段階的に表す模式的断面図

【図 15】 別の実施形態を段階的に表す模式的断面図

【図 16】 別の実施形態を表す断面図

【図 17】 別の実施形態を表す断面図

【符号の説明】

10 造形枠

12 造形台

14 載置板

16 規制板

20 加振部

22 加振装置

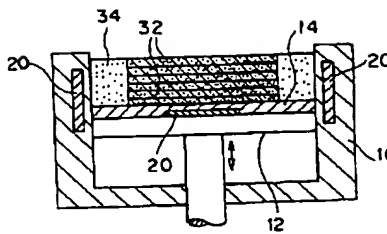
30 粉末材料

31、31a、31b 粉末

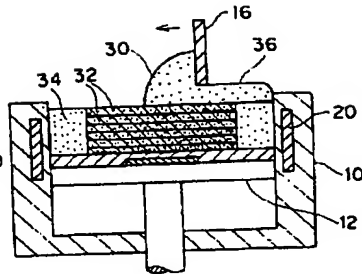
32 硬化層
34 未硬化粉末
36 粉末材料層
40 加圧板

42 圧力センサ
46 透明板
50 レーザ光

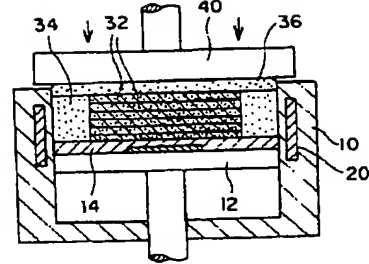
【図1】



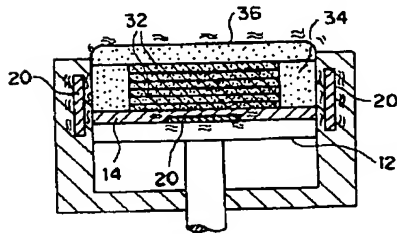
【図2】



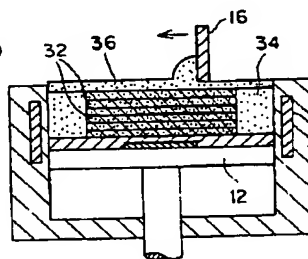
【図4】



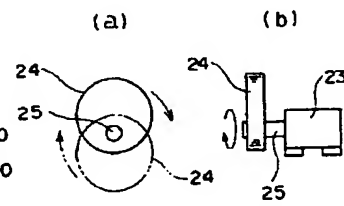
【図3】



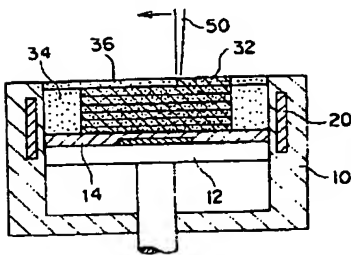
【図5】



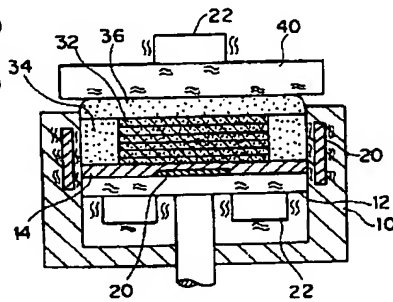
【図9】



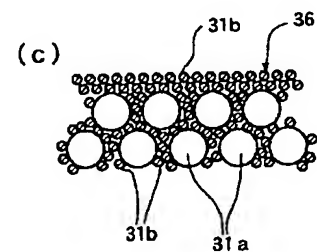
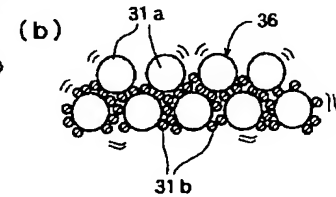
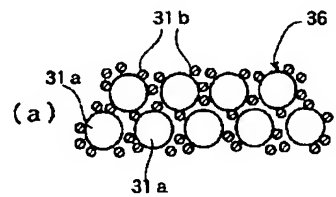
【図6】



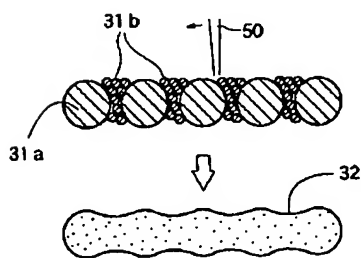
【図8】



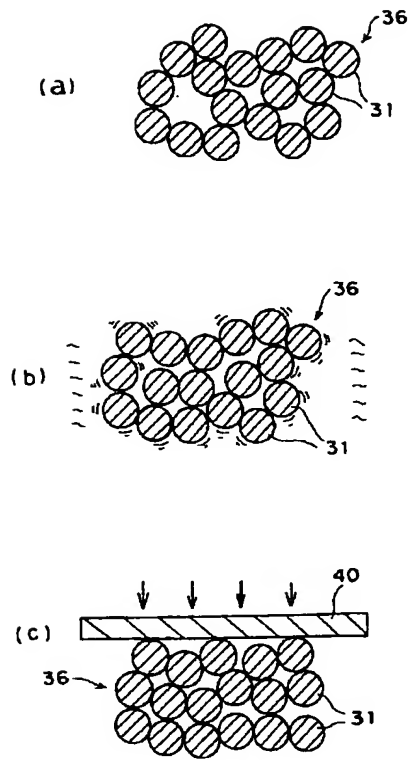
【図13】



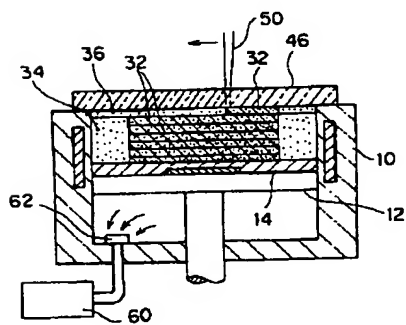
【図14】



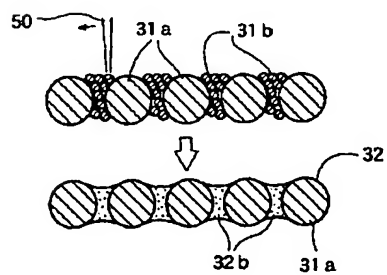
【図7】



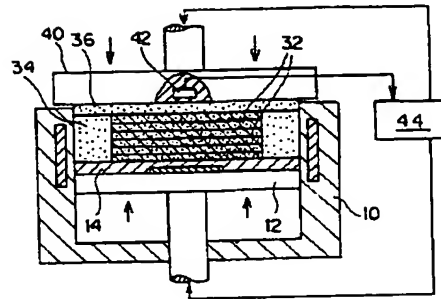
【図11】



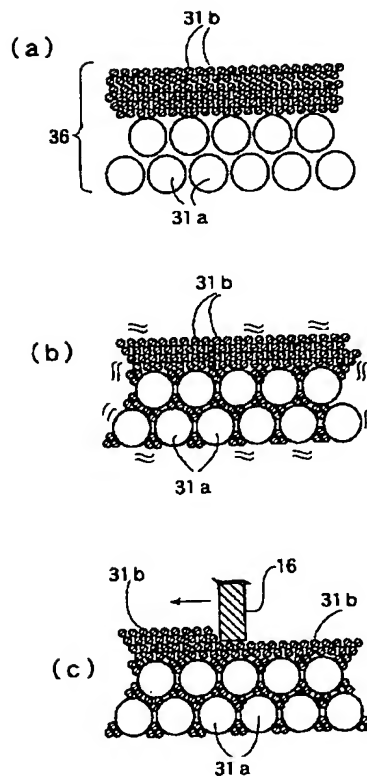
【図15】



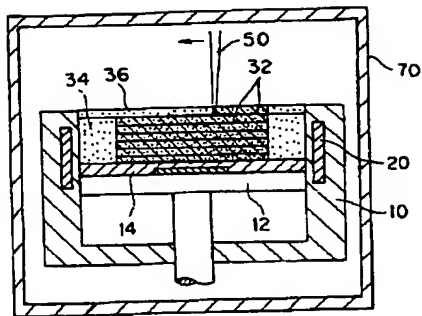
【図10】



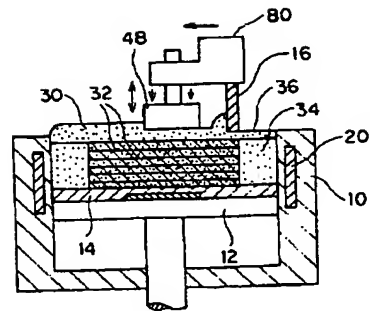
【図12】



【図16】



【図17】



フロントページの続き

(72)発明者 待田 精造
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工
株式会社内

(72)発明者 阿部 諭
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工
株式会社内

(72)発明者 浦田 昇
大阪府門真市大字門真1048番地 松下電工
株式会社内

F ターム(参考) 4F213 AA44 AB16 AC04 WA25 WB01
WK01 WK05 WL03 WL12 WL24
WL26 WL34 WL67 WL96
4K018 AA04 AA08 AA29 BA02 BA04
BA13 BB04 CA05 EA21 HA08

(19) Japan Patent Office (JP)

(12) Japanese Unexamined Patent
Application Publication (A)

(11) Japanese Unexamined Patent
Application Publication Number

2000-336403 (P2000-336403A)

(43) Publication date December 5,
2000

(51) Int. Cl.⁷ Identification symbols
B 22 F 3/105
B 29 C 67/00
C 04 B 35/64

FI
B 22 F 3/10
N 4F 213
B 29 C 67/00
4K 018
C 04 B 35/64
D

F term (reference)

Request for examination Not yet requested No. of claims 18 OL (Total of 12 pages)

(21) Application number	1999-146777	(71) Applicant	00005832 Matsushita Electric Works, Ltd. 1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan
(22) Date of application	May 26, 1999	(72) Inventor	Masataka TAKENAMI c/o Matsushita Electric Works, Ltd. 1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan
		(72) Inventor	Isao FUWA c/o Matsushita Electric Works, Ltd. 1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan
		(74) Representative	100073461 Patent Attorney Takehiko MATSUMOTO

To be continued to the last page.

(54) [Title of the Invention] Method for Producing
Shaped Parts with Three-Dimensional Form

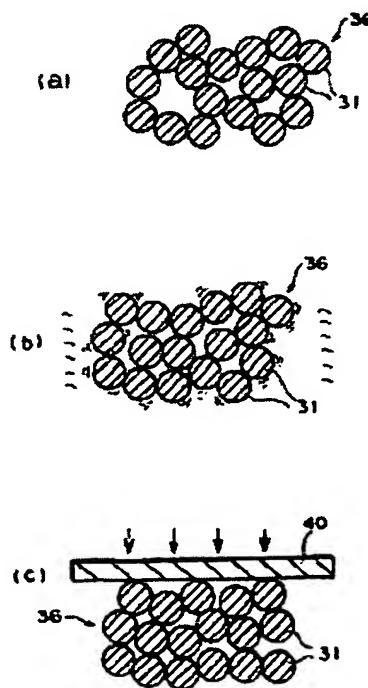
(57) [Abstract]

[Problem to be Solved]

To easily obtain dense, high-precision shaped
parts through a method of producing shaped parts
in three-dimensional form by laminating
laser-hardened layers of powder.

[Solution]

An organic or inorganic powder is irradiated by an
optical beam to form a hardened layer, and one
hardened layer is laid on another to produce the
desired parts of a three-dimensional form. This
method includes the steps of: (a) feeding a powder
material 31 to the shaping region where a
hardened layer is formed by optical beam
irradiation; (b) applying vibration to the powder
material 31 fed to the shaping region; (c) applying
pressure to the powder material 31 fed to the
shaping region; and (d) forming a hardened layer
by irradiating the powder material 31 by an
optical beam after steps (b) and (c).



Claims

[Claim 1]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form, wherein an organic or inorganic powder material is irradiated by an optical beam to form a hardened layer, and one hardened layer is laid on another to produce the desired parts with three-dimensional form, said production method of shaped parts with three-dimensional form comprising the steps of:

- (a) feeding a powder material to a shaping region where a hardened layer is formed by an optical beam irradiation;
- (b) applying vibration to the powder material fed to the shaping region;
- (c) applying pressure to the powder material fed to the shaping region; and
- (d) forming a hardened layer by irradiating the powder material by an optical beam after steps (b) and (c).

[Claim 2]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to Claim 1, wherein said shaping region is a non-oxidizing atmosphere in said step (d).

[Claim 3]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to Claim 2, wherein said shaping region is maintained in positive pressure to the exterior spaces.

[Claim 4]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 3, wherein a member composing said shaping region is vibrated to apply vibration to said powder material in said step (b).

[Claim 5]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 4, wherein a vibrating member is located on the open surface in said shaping region, and vibration generated by the vibrating member is applied to said powder material in said step (b).

[Claim 6]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 5, wherein a vibration generated by an ultrasonic vibrator is applied to said powder material in said step (b).

[Claim 7]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 6, wherein a vibration generated by an ultrasonic vibrator is applied to said powder material in said step (b).

[Claim 8]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 7, wherein a pressurizing-member is located on the open surface in said shaping region, and the pressurizing-member presses said powder material to apply pressure thereon in said step (c).

[Claim 9]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 8, wherein said step (c) comprises the steps of:

(c-1) applying pressure to press said powder material while moving, along an open surface, the pressurizing-member located on said open surface in said shaping region; and

(c-2) regulating the height position of said powder material with a height-regulating member located rearward of the pressurizing-member moving along with said pressurizing-member.

[Claim 10]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 9, wherein the pressure generated in said powder material is detected with a pressure sensor, and the pressure applied to the powder material is regulated based on the detected pressure information in said step (c).

[Claim 11]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 1 to 10, wherein a plurality of powder material types with a different particle sizes are fed in said step (a).

[Claim 12]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to Claim 11, wherein one type of the plurality of powder materials is a relatively fine powder material with an average particle size of 5 to 10 μm , and another type is a relatively coarse powder material with an average particle size of 20 to 40 μm .

[Claim 13]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 11 or 12, wherein said step (a) comprises: (a-1) feeding the powder material with a relatively coarse particle size; and (a-2) feeding the powder material with a relatively fine particle size after step (a-1).

[Claim 14]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 11 to 13, wherein said step (a) comprises: (a-3) feeding mixed powder of the powder material with a relatively coarse particle size and the powder material with a relatively fine particle size; and (a-4) feeding the powder material with a relatively fine particle size after step (a-3).

[Claim 15]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to any of Claims 11 to 14, wherein a plurality of powder material types having a different particle size and quality of material are fed in said step (a).

[Claim 16]

A method of producing shaped parts with three-dimensional form according to Claim 15, wherein one type of the plurality of powder materials is a powder material with a relatively coarse particle size comprising any of one or more materials selected from the group of copper, bronze, and phosphor copper, and another type is a powder material of relatively fine particle size comprising any one or more materials selected from the group of iron and nickel.

[Claim 17]

A production method of a shaped part with three-dimensional form according to Claim 11, wherein one type of the plurality of powder materials has a relatively fine particle size and low melting point, and another type has a

relatively coarse particle size and high melting point.

[Claim 18]

A production method of a shaped part with three-dimensional form according to Claim 17, wherein the powder material having a relatively fine particle size and low melting point is one or more materials selected from the group of copper, bronze, and phosphor copper, and the powder material having a relatively coarse particle size and high melting point is one or more materials selected from the group of iron and nickel.

[Detailed Description of the Invention]**[0001]****[Technical Field of the Invention]**

The invention relates to a method of producing shaped parts with three-dimensional form and, in particular, to a method of producing shaped parts with three-dimensional form that is produced by the continuous laminar hardening of an organic or inorganic powder continuously using an optical beam.

[0002]**[Prior Art]**

It is known that the method to produce shaped parts with three-dimensional form in which an inorganic powder like metals or an organic powder like resins is accumulated, an optical beam such as laser beam and directional energy beam is irradiated thereon to harden, and such operation is repeated to laminate hardened materials. Because the part in which the optical beam is irradiated is hardened and integrated while the part where the optical beam is not irradiated remains as powder, when a hardened material is retrieved from an eventually accumulated powder material and a unhardened powder is removed, a desired shaped part with three-dimensional form is obtained.

[0003]

Specific technology such as production process and a manufacturing apparatus is disclosed in the patent publication No. 2620353. Said method has an advantage in which a part having complex and precise shape which can not be produced with conventional casting or machining can be efficiently produced. In addition, a part having any shape can be produced quickly by only controlling the scanning of an optical beam based on electronic information such as CAD designed data of a part. Like a conventional powder sintering technology, trouble and the facilities for preforming of powder are not necessary. Manufacturing of a trial product before mass production, manufacturing of a precision part with small-lot production, and manufacturing of a mold are considered as an application to exploit such an advantage.

[0004]

It is disclosed in Japanese Patent Laid-Open No. 10-88201 bulletin in which a dense formed product is produced so that an accumulated powder material layer is pressurized to compress and then laser beam is irradiated to form an intermediate formed product, and the intermediate formed product is sintered. It is assumed that a dense structure can be obtained by pressurizing the powder material layer to eliminate spaces existing between powders.

[0005]**[Problems to be solved by the Invention]**

However, it is difficult to obtain a formed product with a dense structure by eliminating spaces in the powder material layer even by employing said method that pressurizes the powder material layer. In the powder material layer accumulated in disarray, gap is formed therebetween with the state in which a plurality of powders abut each other. If the powder material layer can be moved by pressurizing it in the thickness direction so that the powders around the gap are fallen in the spaces, the gap can be eliminated. However, when it is in the state in which the powders surrounding the gap abut each other and can not move, or in the state in which they construct so-called

bridge or arch, the gap can not be eliminated even the powder material layer is adequately pressurized.

[0006]

If there are a lot of spaces in the powder material, the denseness of the formed product decreases, and thus performance such as mechanical strength decreases. If the powder material melts and falls in the spaces as sintering a formed product, the external form of the formed product is deformed, and thus forming accuracy is impaired. In addition, for applying adequate large pressure which can forcibly eliminate said spaces, the pressurization equipment results in large-scaled and thus production cost increases. Besides, the powder material in which excessive pressure is applied is damaged and deformed, and thus it has adverse effect on the quality of the formed product.

[0007]

The problems to be solved by the invention is to solve the problems in the prior art and to easily obtain dense, high-precision shaped parts in said method of producing a shaped part with three-dimensional form by laminating said laser beam hardened layers of powder.

[0008]

[Means for Solving the Problems]

In a method of producing shaped parts with three-dimensional form related to the present invention, an organic or inorganic powder material is irradiated with an optical beam to form a hardened layer, and one hardened layer is laid on another to produce the desired parts of three-dimensional form, the method of producing shaped parts with three-dimensional form comprising: (a) feeding a powder material to the shaping region where a hardened layer is formed by an optical beam irradiation; (b) applying vibration to powder material fed to the shaping region; (c) applying pressure to powder material fed to the shaping region; and (d) forming a hardened layer by irradiating powder material with an optical beam after the steps (b) and (c).

[Powder Material]

Metals, metal alloys, synthetic resins, ceramics, glass, other organic or inorganic powder materials used for ordinal production of shaped parts with three-dimensional form can be used.

[0009]

Metal materials include nickel, phosphor copper, iron, copper, and bronze. A powder material composing a hardened layer may be only one kind of powder materials or may be able to combine a plurality types of powder materials. Spherical, polyhedral, pillar, scaly, indeterminate, and other ordinal powder shape are applicable for the shape of the powder material.

[0010]

The particle size of the powder material is about 5 to 40 μm in average, however it could be different by quality of material or a purpose of use of a shaping product. A powder material with a relatively coarse particle size and that of relatively fine particle size can be combined. Specifically, a fine powder material having average particle size of 5 to 10 μm and a coarse powder material having average particle size of 20 to 40 μm can be combined.

[Shaping Region]

A powder material is fed in a shaping region comprising a container-shaped shaping space in which the top face,

bottom face, and perimeter are surrounded, and the shaping region is irradiated with an optical beam to shape a shaping product that is a hardened layer and a laminated body of hardened layers.

[0011]

The shaping region can be composed with a container-shaped shaping frame in which the top surface is opened and a shaping base that can be freely raised and lowered within the shaping frame. Although the shaping region may have same inner shape as the outer circumference shape of the shaping product, ordinarily, it has an inner shape having a little larger than the outer circumference shape of the shaping product

[Supply of Powder Material]

An ordinal powder feeding means is applied. Powder material accumulated in a hopper and the like is fed to the shaping region from a nozzle or a slit using its own weight or air pressure.

[0012]

Powder material can be fed by moving the feeding means such as a nozzle to accumulate powder material laminarly. The surface of the powder material layer can be regulated to be flat and constant thickness by moving a plate-shaped height regulation member upward of the accumulated powder material layer.

[Vibrating Step]

Vibration is applied to the fed powder material layer in the shaping region using a vibrating mechanism or a vibrating device in an ordinal equipment and a handling technology of powder.

[0013]

A specific example of vibrating mechanism includes an ultrasonic vibrator and an eccentric rotary body. The installation location of a vibrating mechanism is only able to apply desired vibration to the powder material layer, and a member composing a wall surface of the shaping region or a shaping base to accumulate the powder material layer can be used. Vibration may also be applied by abutting members with a vibrating mechanism at the top surface of the powder material layer. Both of a pressurization mechanism described below and the vibrating mechanism may be used.

[0014]

For the vibration condition, strength and time are applied so that the spaces within the powder material layer is adequately eliminated. Specifically, it can be appropriately configured by the condition of quality of material of the powder material, the thickness and the area of the layer, and the like.

[Pressurization Step]

If the powder material layer can be pressurized in the thickness direction, a pressurization mechanism and a pressurization equipment in an ordinal equipment can be used.

[0015]

Specifically, it may be pressurized from upward to downward pushing a pressurizing plate on the top surface of the powder material layer, or may be pressurized by rising a shaping base which supports the powder material layer and sandwiching the powder material layer between the pressurizing body of the top surface and the base with fixing the pressurizing plate. Both lowering the pressurizing plate and rising the shaping base may be applied. Although the

pressurization pressure is different by quality of material, particle size, the thickness of the powder material, and required performance, for example, it may be configured within 1 to 100 kPa.

[0016]

The pressurization step may be applied after the completion of the vibrating step, or both the pressurization step and the vibrating step may be applied simultaneously. If the vibrating mechanism is incorporated to the pressurization plate, pressurization and vibrating can be applied continuously or simultaneously. Pressurization and vibrating can be repeated alternately a plurality of times.

[Laser Beam Irradiation Step]

A hardened layer can be formed by irradiating an optical beam with an equipment and means which are same as an ordinal laser shaping technology on the powder material layer that is vibrated and pressurized.

[0017]

The thickness of the powder material layer in which an optical beam is irradiated is configured in consideration of the form accuracy of a desired shaping product and the hardening ability of the optical beam. The thickness of the powder material layer is determined by the feeding amount of the powder material and the extent of vibration and pressurization. A powder material layer of prescribed thickness may be formed by repeating a plurality of times of the feeding, steps of vibration and pressurization of the powder material. As a specific thickness condition of the powder material layer in which an optical beam is irradiated, around 0.05 to 0.2 mm is employed.

[0018]

Laser beam such as YAG laser and CO₂ laser is preferable as an optical beam. An optical beam may be directly irradiated on the surface of the powder material, or may be irradiated on the powder material layer from the outside a transparent plate in the state in which the transparent plate made of glass or the like is located on the surface of the powder material layer. If the powder material layer is pressurized with the transparent plate, even pressurization and irradiation of an optical beam can be applied simultaneously.

[0019]

As for the irradiation condition of an optical beam, all or part of the powder material layer is melted or softened to only be a hardened layer in which the powder material layer is integrated, and specific condition of light intensity and irradiation time can be configured appropriately. A hardened layer having desired shape can be formed by scanning an irradiating position of an optical beam to the powder material layer.

[0020]

When the irradiation of an optical beam is applied keeping the state in which the powder material layer is pressurized with a pressurizing plate made of a transparent material, re-building and enlarging spaces in the powder material layer can be prevented after pressurization and thus the powder material layer keeping compacted can be hardened.

[Production of Shaping Product]

A shaping product in which a hardened layer having a plurality of layers is laminated is obtained by repeating said feeding, vibrating, and pressurization of the powder material layer, and irradiation of an optical beam. By laminating hardened layers with different shape, it becomes a shaping product with desired three-dimensional form.

[0021]

Because there are a shaping product which is a laminated body of hardened layer and unhardened powder material remaining around of it in the shaping region, the powder material around the shaping product is removed or only the shaping product is retrieved from the powder material. Although the shaping product can be used for various application directly, a sintering step and finishing of the external form can further be applied.

[Another Invention]

In step (d), the shaping region can be a non-oxidizing atmosphere.

[0022]

The shaping region can be maintained in positive pressure to the exterior spaces. In step (b), a member composing the shaping region can be vibrated, it can locate a vibrating member on the open surface of the shaping region to apply vibration generated by a vibrating member to powder material, vibration generated by an ultrasonic vibrator can be applied, and vibration generated by an eccentric rotary body can be applied to powder material.

[0023]

In step (c), a pressurizing-member is located on the open surface in the shaping region, whereby the pressurizing-member can press powder material to apply pressure thereon. Step (c) can include steps: (c-1) applying pressure with moving pressurizing-member; and (c-2) regulating the height position of powder material with a height-regulating member. In step (c), the pressure can be regulated based on detective information of a pressure sensor.

[0024]

In step (a), powder material of a plurality types of different particle size can be fed. One type of the plurality of powder materials can be a relatively fine powder material of average particle size of 5 to 10 μm , and another type is a relatively coarse powder material of average particle size of 20 to 40 μm . In step (a), it can include steps: (a-1) feeding the powder material with a relatively coarse particle size; and (a-2) feeding the powder material of relatively fine particle size after step (a-1).

[0025]

In step (a), it can include steps: (a-3) feeding mixed powder of the powder material with a relatively coarse particle size and the powder material of relatively fine particle size; and (a-4) feeding the powder material of relatively fine particle size after step (a-3). In step (a), a plurality of powder material types having different particle size and quality of material can be fed, and particularly, one type of the plurality of powder materials can be a powder material with a relatively coarse particle size comprising any one or more materials selected from the group of copper, bronze, and phosphor copper, and another type can be a powder material of relatively fine particle size comprising any one or more materials selected from the group of iron and nickel.

[0026]

One type of the plurality of powder materials can have a relatively fine particle size and low melting point such as copper, bronze, and phosphor copper, and another type can have a relatively coarse particle size and high melting point such as iron and nickel.

[0027]

[Mode for Carrying Out the Invention]

[Basic Production Steps]

Figs. 1 to 6 show basic production steps. As shown in Fig. 1, a container-shaped shaping frame 10 in which the top surface is opened comprises a shaping base 12 that can be freely raised and lowered within the shaping frame. A support plate 14 for mounting thereon and handling a shaping product is located on the shaping base 12. A vibrating part 20 comprising an ultrasonic vibrator is embedded in the sidewall of the shaping frame 10 and the support plate 14.

[0028]

A plurality of hardened layers 32 that are already produced are stacked on the support plate 14 in the shaping frame 10. There is an unhardened powder material 34 around the hardened layer 32. The vertical position of the shaping base 12 is adjusted so that the surfaces of the hardened layer 32 and the unhardened powder material 34 are located a little lower than the upper end of the shaping frame 10. The distance between the shaping frame 10 and the hardened layer 32 determines the thickness of the hardened layer 32 produced next.

[0029]

As shown in Fig. 2, a new powder material 30 is fed on the already formed hardened layer 32 and the unhardened powder material 34. A width plate-shaped regulation member 16 crossing the shaping frame 10 is moved in a horizontal direction at a position that is a little higher than the shaping frame 10 to regulate the height position of the powder material 30, and it is a powder material layer 36 having a totally consistent thickness. The top surface of the powder material layer 36 is located a little higher than the upper end of the shaping frame 10.

[0030]

As shown in Fig. 3, when the vibrating part 20 is operated, vibration is applied to the powder material layer 36 in the shaping frame 10 and minute spaces existing in the powder material layer 36 decrease. Therefore, the thickness of the powder material layer 36 also becomes a little thinner. As shown in Fig. 4, after stopping the operation of the vibrating part 20, a pressurizing plate 40 is positioned over the top surface of the powder material layer 36 and the pressurizing plate 40 is lowered to pressurize the powder material layer 36 from the top to the bottom. The minute spaces existing in the powder material layer 36 are further decreased by pressurization, whereby it becomes a state in which the powder material is densely arranged. Although the thickness of the powder material layer 36 further becomes thinner, the top surface of the powder material layer 36 is still located a little higher than the upper end of the shaping frame 10.

[0031]

In the above step, pressurization with the pressurizing plate 40 may be applied simultaneously by vibrating with the vibrating part 20 without stopping the operation of the vibrating part 20. In addition, if the vibrating part 20 is embedded in the pressurizing plate 40, vibration may be applied with the pressurization plate 40, which directly contacts the powder material layer 36, and thus efficient vibrating and pressurization is possible. As shown in Fig. 5, when the regulation member 16 is horizontally moved along the upper end of the shaping frame 10, the top surface

of the powder material layer 36 becomes the same height as the shaping frame 10, and thus the dense powder material layer 36 having a desired thickness can be obtained. Extra powder material removed with the regulation member 16 can be collected for reuse.

[0032]

As shown in Fig. 6, when the surface of the powder material layer 36 is irradiated with a beam-shaped laser beam 50, all or part of the powder material at that part melts, and the powder materials are integrally fused, and thus the hardened layer 32 is formed. Because powder material is also integrally fused to the hardened layer 32 that was previously formed and exists below the powder material layer 36 when it is melted and hardened, the newly formed hardened layer 32 will be integrated with the hardened layer 32 laminated downward.

[0033]

The hardened layer 32 having a prescribed pattern form is obtained by scanning the laser beam 50 in a horizontal direction. A shaped part with three-dimensional form in which a plurality of the hardened layers 32 having prescribed pattern form is laminated is obtained by repeating the above steps. Because the unhardened powder material 34 remains around the hardened layer 32 or the shaped part, only the shaped part can be retrieved from inside the shaping frame 10. It can also be retrieved in a state in which the shaped part is mounted on the support part 14 by lifting the shaping base 12 above the shaping frame 10.

[Behavior of Powder Material]

Fig. 7 shows typical behavior of powder material in said production steps.

[0034]

Fig. 7 (a) shows a state in which the powder material layer 36 is fed (corresponding to the step in Fig. 2), and each powder 31 is located sporadically. Therefore, there is a relatively large gap in the powder material layer 36. As shown in Fig. 7 (b), because each powder 31 is finely vibrated all around when the powder material layer 36 is vibrated (correspond to the step in Fig. 3), effects of the weight of the powder 31 and collision among granules cause an effect in which the powder 31 drops into said spaces and fills that spaces. Thereby, the gaps gradually decrease. However, it is not possible to decrease the spaces after the spaces are decreased to a certain extent only by applying vibration.

[0035]

As shown in Fig. 7 (c), when the pressurizing plate 40 is located over the top surface of the powder material layer 36 to pressurize (corresponding to the step in Fig. 4), because the effect is caused of filling the space between the powder 31 with a larger force compared to said vibration, the spaces are further decreased, and thus, a fine powder material layer 36 can be obtained. In the state depicted in Fig. 7 (a), the spaces can be decreased to a certain extent when the pressurizing plate 40 is located to pressurize without vibrating, but at the part where a block-shaped structure composed of a plurality of powder 31 surrounds the gap to compose a truss and a dome, it is difficult to eliminate the spaces adequately only by pressurizing from one direction, because strong resistance works between the powders 31 by abutting. However, in such parts, a robust space structure can be broken because each powder 31 will be moved separately when it is vibrated.

[0036]

In other words, because both effects in which vibration to move the powder 31 in disarray with a relatively small force and pressurization to move the powder 31 unidirectionally are added synergistically, the spaces existing in the powder material layer 36 is efficiently eliminated, and thus the fine powder material layer 36 can be obtained.

[Eccentric Rotary Body]

In the embodiments shown in Fig. 8 and Fig. 9, a vibrating mechanism using eccentric rotary body instead or along with the ultrasonic vibrator of said embodiment is provided as the vibrating mechanism.

[0037]

As shown in Fig. 9, an eccentric board 24 is mounted on the rotating shaft 25 of a motor 23. The eccentric board 24 has a totally circular shape and the mounting position for the rotating shaft 25 is located off center from the eccentric board 24 but in a slightly off-center position. When the motor 23 is operated to revolve the eccentric board 24, the weight or inertia force of the eccentric board 24 is applied unevenly to the rotating shaft 25, whereby vibration will be caused to the entire device. The cycle and amplitude of vibration are configured by the revolving speed of the eccentric board 24 and the eccentricity amount of the eccentric board 24.

[0038]

As shown in Fig. 8, if vibrating equipment 22 embedding above the motor 23 and the eccentric board 24 are installed at the back of the shaping base 12 or the pressurizing plate 40, vibration generated by the vibrating device 22 may be transmitted to the powder material layer 36.

[Pressure Control]

The embodiment shown in Fig. 10 accurately controls pressure applied to the powder material layer 36.

[0039]

The pressurizing plate 40 comprises a pressure sensor 42 on its under surface, which contacts the powder material layer 36. The pressure sensor 42 detects pressure applied to the powder material layer 36 when the pressurizing plate 40 is operated. Pressure information detected by the pressure sensor 42 is transmitted to a computer 44 located outside the pressurizing plate 40. The computer 44 can electrically control an operative mechanism such as an actuator that raises and lowers the pressurizing plate 40 and an operative mechanism that raises and lowers the shaping base 12.

[0040]

In the step of pressurizing the powder material layer 36 with the pressurizing plate 40, the pressurizing plate 40 continues to lower until the pressure detected by the pressure sensor 42 exceeds the prescribed value by lowering the pressurizing plate 40. When the detected pressure of the pressure sensor 42 exceeds the prescribed value, the operation of the pressurizing plate 40 is stopped to hold the pressurizing plate 40 at that position. By pressurizing the powder material layer 36 with the pressurizing plate 40 simultaneously with generating pressure in the rising direction to the shaping base 12, the shaping base 12 can be prevented from lowering due to the pressure of the pressurizing plate 40. In addition, the powder material layer 36 can be effectively pressurized with the pressure from top and bottom. The computer 44 controls operation of the amount or pressurization force of the pressurizing plate

40, and the shaping base 12 in an appropriate value based on the detected pressure of the pressure sensor 42.

[0041]

In the pressurization step, chronological conditioned control of pressurization force may be applied such that relatively small pressure is applied at the first step to eliminate spaces smoothly and relatively large pressure is applied after elimination of the spaces progresses to a certain extent to completely eliminate the spaces. When the pressure applied to the powder material layer 36 is appropriately controlled as described above, the powder material layer 36 can be reliably and efficiently be compacted to become dense.

[Vacuum Absorption]

In the embodiment shown in Fig. 11, the powder material layer 36 is pressurized using vacuum force.

[0042]

In the shaping frame 10, a vacuum suction port 62 is provided behind the shaping base 12. The vacuum suction port 62 is connected to a vacuum pump 60 installed outside the shaping frame 10. The air behind the shaping base 12 is expelled to become negative pressure by operating the vacuum pump 60. Air can be circulated between the upper space and the back space of the shaping base 12, and when the back space becomes negative pressure, the upper space of the shaping base 12 also becomes negative pressure.

[0043]

A transparent plate 46 made of glass or the like is located at the upper end of the shaping frame 10. When the vacuum pump 60 is operated in this state, the interior space of the shaping frame 10 becomes negative pressure. The transparent plate 46 is adsorbed to and in close contact with the top surface of the shaping frame 10. The movement of this transparent plate 46 gives same effect as that the transparent plate 46 is lowered mechanically to pressurize the powder material layer 36. In the inside of the powder material layer 36, the space is filled so that powder comes into the space because it becomes negative pressure by suctioning the air into the gap.

[0044]

When the powder material layer 36 is irradiated with the laser beam 50 from outside the transparent plate 46 while the transparent plate 46 is located on the left, the powder material layer 36 is hardened, whereby the hardened layer 32 is formed. In this case, because the hardening with the laser beam 50 progresses in a state in which the powder material layer 36 continually eliminates the spaces to compact by the operation of said vacuum pump 60, the dense hardened layer 32 can be formed.

[0045]

Although the spaces may be re-expanded with the restoring force of each powder 31, when the pressurizing plate 40 is removed, even if the powder material layer 36 is compacted by pressurization with the pressurizing plate 40, if the transparent plate 46 is vacuum contacted, re-generation and re-expansion of such spaces may be prevented, and thus, the powder material layer 36 is hardened and remains compacted. In addition, when the hardened layer 32 is also formed by irradiating the laser beam 50 in the state in which the pressurizing plate 40 made of a transparent material is pressing the powder material layer 36 from upward, re-generation and re-expansion of the spaces in the powder material layer 36 can be prevented.

[0046]

The powder material layer 36 can also be compacted by pressurization using both means of pressurizing with the pressurizing plate 40 and vacuum absorption with the vacuum pump 60 together.

[Powder of Different Grain Size]

In the embodiment shown in Fig. 12, powder with a relatively coarse particle size 31a and powder of a relatively fine particle size 31b are used together as the powder material 30.

[0047]

As shown in Fig. 12 (a), in the powder material feeding step (see Fig. 2), first, the coarse powder 31a is fed to the prescribed thickness and then the fine powder 31b is fed only with the prescribed amount. In this state, the layer with a coarse powder 31a and the layer with a fine powder 31b are vertically separated. There is a relatively large spaces between the coarse materials 31a.

[0048]

As shown in Fig. 12 (b), in the vibrating step (see Fig. 3), when the powder material layer 36 is vibrated, the fine powder 31b falls between the coarse powders 31a by its own weight, whereby it will fill the spaces in the coarse powder 31a. Thereby, the powder material layer 36 is in the state in which the coarse powder 31a and the fine powder 31b are mixed as well as both are located densely without spaces. The remainder with a fine powder 31b after filling the spaces in the coarse powder 31a composes a layer with the constant thickness on the layer with a coarse powder 31a.

[0049]

As shown in Fig. 12 (c), by applying the pressurization step (see Fig. 4) for the powder material layer 36 or without that step, the extra fine powder 31b is removed with the regulation member 16. In this state, the fine powder 31b is still densely spread on the top surface of the powder material layer 36. The fine powder 31b is located on the surface as above, and thus the surface of the hardened layer 32 formed can be smooth and dense.

[0050]

By applying the pressurization step before or after said height regulation step, it is the same as the above in which elimination of spaces or densification of the powder material layer 36 progresses further. A specific condition example of the above operation is shown below. Nickel powder having an average particle size of 5 to 10 μm is used as the fine powder 31b. Phosphor copper powder having average particle size of 30 μm is used as the coarse powder 31a. The mixing ratio with a coarse powder 31a and the fine powder 31b should be a weight ratio of 1:1.

[0051]

The coarse powder 31a is formed in the layer having a thickness of 0.08 mm, and then the fine powder 31b is formed in a layer having a thickness of 0.04 mm thereon [Fig. 12 (a)]. The powder material layer 36 having a thickness of 0.1 mm is obtained through the vibrating step, the height regulation step, and the pressurization step.

[Mixed Powder]

In the embodiment shown in Fig. 13, mixed powder of the powder with a relatively coarse particle size 31a and the powder with the relatively fine particle size 31b is used as the powder material 30.

[0052]

As shown in Fig. 13 (a), in the powder material feeding step (see Fig. 2), a mixed powder 31a and 31b is fed. In the powder material layer 36, two kinds of powder 31a and 31b having different particle size coexist almost evenly. Because it achieves a state in which powder with a fine particle size 31b fits in the spaces produced between adjacent powders with a coarse particle size 31a, the spaces are reduced and compacted compared to the case in which only powder with a coarse particle size 31a is used.

[0053]

As shown in Fig. 13 (b), in the vibrating step (see Fig. 3), when the powder material layer 36 is vibrated, the fine powder 31b falls between the coarse powders 31a by its own weight, whereby it will gather in the lower side. Thereby, in the lower side of the powder material layer 36, the coarse powder 31a and the fine powder 31b are filled densely without spaces. However, in the upper side of the powder material layer 36, there is no fine powder 31b and thus the coarse powders 31a are located in relatively large spaces.

[0054]

As shown in Fig. 13 (c), only the fine powder 31b is newly fed on the powder material layer 36. Thereby, the spaces between the coarse powders 31a is eliminated by filling it with the fine powder 31b also at the upper side of the powder material layer 36. By feeding the fine powder 31b over the upper end with a coarse powder 31a, the top surface of the powder material layer 36 can be composed only with the fine powder 31b. The surface of the powder material layer 36 which consists of a fine powder 31b will have small surface roughness, and be smooth and compacted. This is the form in common with said Fig. 12 (c) in the embodiment of Fig. 12. Subsequent steps are conducted same as said embodiments.

[0055]

A specific condition example of the above operation is shown below. Nickel powder having average particle size of 5 to 10 μm is used as the fine powder 31b, and phosphor copper powder having average particle size of 30 μm is used as the coarse powder 31a. The mixing ratio with a coarse powder 31a and the fine powder 31b should be a weight ratio of 1:1. Mixed powder with a coarse powder 31a and the fine powder 31b is formed in the layer having the thickness 0.07 mm [Fig. 13 (a)], and the vibration step is applied [Fig. 13 (b)], and then the fine powder 31b is formed in the layer having the thickness 0.03 mm thereon [Fig. 13 (c)]. Finally, the powder material layer 36 having the thickness 0.1 mm is obtained.

[Simultaneous Melting of Powders having Different Melting Points]

In the embodiment shown in Fig. 14, the fine powder 31b and the coarse powder 31a are combined as well as making their melting point different.

[0056]

Specifically, a material having higher melting point than the material with a coarse powder 31a is used as a material with a fine powder 31b. The powder material layer 36 in which two kinds of powder 31a and 31b coexist is formed, applying prescribed vibrating step and pressurization step, and then it is irradiated by the laser beam 50. As irradiating the laser beam 50, if quality of material of the powder 30 is same, powder of smaller heat capacity is

easily heated to raise the temperature, and thus melted more quickly than powder of large heat capacity.

[0057]

When the fine powder 31b and the coarse powder 31a of the powder material layer 36 are irradiated by the laser beam 50 at the same time, the fine powder 31b is heated to raise the temperature faster, and thus the heat to raise the temperature with a coarse powder 31a will be delayed. However, because the fine powder 31a has higher melting point, the melting will not started until it has high temperature compared to the coarse powder 31b. That is, the timing in which the fine powder 31b having faster heat to raise the temperature reaches higher melting point and the coarse powder 31a having faster heat to raise the temperature reaches lower melting point become the same.

[0058]

Thereby, the fine powder 31b and the coarse powder 31a are simultaneously melted and integrated, and thus the hardened layer 32 in which they are melted integrally is formed. The specific example with a fine powder 31b and the coarse powder 31a is shown below. Nickel powder having average particle size of 5 to 10 μm is used as the fine powder 31b, and phosphor copper powder having average particle size of 30 μm is used as the coarse powder 31a. The mixing ratio with a coarse powder 31a and the fine powder 31b should be a weight ratio of 1:1. When the hardened layer 32 is formed by the above steps, the hardened layer 32 in which both materials are melted evenly and integrated is obtained.

[0059]

Copper or bronze can be used instead of phosphor copper as the coarse powder 31a. Iron can be used instead of nickel as the fine powder 31a. In said embodiment, because the two kinds of powder 31a and 31b are melted simultaneously as the laser beam 50 is irradiated, energy of the laser beam 50 can be used efficiently, and thus the hardened layer 32 in which the two kinds of powder 31a and 31b are melted evenly and alloyed with minimum energy can be obtained. Thereby, warpage, deformation, and generation of stress due to the variation in quality of material of the hardened layer 32 can be minimized, and thus the dimensional accuracy of the shaped part can be improved.

[Melting Only for One Part Powder]

The embodiment shown in Fig. 15, unlike said embodiments, two kinds of powders are combined in the condition in which the melting point with a fine powder 31b is lower than that with a coarse powder 31a.

[0060]

It is the same as said embodiment in which the powder material layer 36 coexisting the two kinds of powder 31a and 31b is formed and is irradiated by the laser beam 50. The laser beam 50 quickly heats to raise the temperature with a fine powder 31b having smaller heat capacity and lower melting point. In this step, because the coarse powder 31a having larger heat capacity and higher melting point will not be heated to raise the temperature and it has higher melting point, it is hardly melted.

[0061]

Thereby, a material 32b in which the fine powder 31b is melted fills in the spaces between the coarse powders 31a which are still powder state and fused each other, and the totally integrated hardened layer 32 will be formed. The

melting material 32b functions as an adhesive or a wax. The coarse powder 31a will increase the joining property to the melting material 32b by keeping the original state or by melting and softening of only one part of the surface thereof. The hardened layer 32 is not the alloy state in which both materials are melt-mixed but the state in which the coarse powder 31a is fused to the melting material 32a.

[0062]

In the above embodiment, because energy of the laser beam 50 may only have the capacity to melt fine powder 31b that can be melted easily, energy consumption decreases compared to melting the entire powder material layer 36, and thus, processing time becomes shorter. In addition, because warpage and deformation due to the heat and heat stress are decreased, the dimension accuracy of the hardened material 32 formed is improved. The specific example with a fine powder 31b and the coarse powder 31a is shown below. Mixed powder of nickel and iron having average particle size of 30 μm is used as the coarse powder 31a. Phosphor copper having average particle size of 5 to 10 μm is used as the fine powder 31b. The mixing ratio of three kinds of powders should be nickel : iron : phosphor copper = 20 : 20 : 60 (weight ratio). When the hardened layer 32 is formed by the above steps, the hardened layer is obtained in which the coarse powder 31a comprising nickel and iron is integrally fused to the melting material 32b comprising phosphor copper.

[0063]

It also functions similarly when bronze is used as the fine powder 31b instead of phosphor copper.

[Irradiation Environment of Laser Beam]

In the embodiment shown in Fig. 16, the atmosphere environment in the step in which the powder material layer 36 is irradiated by the laser beam 50 to form the hardened layer 32 is controlled.

[0064]

The whole equipment such as the shaping frame 10 is preliminarily stored in an environment chamber 70 which can control an internal atmosphere, and the atmosphere in the environment chamber 70 is controlled by supplying desired atmospheric gas with a pump or the like from the outside the environment chamber 70 to remove internal air. When the environment chamber 70 is brought into an inert gas atmosphere of nitrogen gas or the like, it can prevent the oxidation when the powder 30 is sintered by irradiating the powder material layer 36 by the laser beam 50. Thereby, the strength of the shaped part is more improved than the case of sintering in the air. It also functions similarly when a non-oxidizing gas containing another inert gas is used instead of nitrogen gas.

[0065]

When the environment chamber 70 is brought into a reducing gas atmosphere of hydrogen gas or the like, oxygen content absorbed on the surface of the powder 30 can be resolved. Thereby, the function to prevent oxidation can be further improved than the case of using inert gas, and thus the strength of the shaped part formed can be improved. The pressure in the environment chamber 70 can be maintained in positive pressure to the outside the environment chamber 70. Specifically, it can maintain in higher pressure at around 5 kgf/cm^2 to external atmospheric pressure.

[0066]

When the atmospheric pressure in hardening the powder 30 by irradiating the laser beam 50 is high, the boiling point

of the powder 30 is raised, and thus, evaporation components such as metal vapor generated in the sintering step can be reduced. Thereby, the strength after sintering can be improved. When evaporation components can be reduced, pollution of condensing lenses located in irradiation path of the laser beam 50 can be reduced. Although maintaining the irradiation environment of the laser beam 50 in positive pressure is also effective for the case in which the atmospheric environment is air, in the case in which it is in the non-oxidizing gas atmosphere, atmospheric air of low pressure is difficult to be brought into the environment chamber 70, and thus the oxidation of the powder 30 by atmospheric air can be securely prevented.

[Movable Pressurization Equipment]

In the embodiment shown in Fig. 17, movable pressurization equipment is used instead of said pressurizing plate 40.

[0067]

A moving equipment 80 is installed so as to be freely moved in a horizontal direction over the shaping frame 10. In the front end side of traveling direction of the moving equipment 80, a pressurization block 48 which can be freely raised and lowered is provided. The pressurization block 48 pressurizes the powder material layer 36 by pressurizing the powder material layer 36 from above with the flat under surface. The whole surface of the powder material layer 36 can be pressurized by moving the pressurization block 48 up and down while the pressurization equipment 80 is moved horizontally. A piston cylinder mechanism or a motor-driven cam mechanism can be employed as a rising and lowering mechanism of the pressurization block 48.

[0068]

If the vibrating mechanism is embedded in the moving equipment 80 or the pressurization block 48, vibration may be applied to the powder material layer 36 with the pressurization block 48. The regulation plate 16 is provided at the rear end side for the traveling direction of the moving equipment 80. The lower end of the regulation plate 16 is located at a position lower than the lowest position of the pressurization block 48 and a position same as the upper end of the shaping frame 10. The height position of the powder material layer 36 is configured and extra powder 30 is removed so that the moving equipment 80 is moved horizontally to pressurize the powder material layer 36 with the pressurization block 48 and then the regulation plate 16, which passes through the layer. Thereby, the powder material layer 36 have the same height as the upper end position of the shaping frame 10 is formed.

[0069]

In the above embodiment, by the operation of the moving equipment 80, the pressurization step and subsequent height regulation step can be applied continuously, and thus the operation becomes more efficient and the equipment can be more simplified. If the moving equipment 80 comprises a feeding mechanism for the powder 30, the feeding step, the vibrating step, the pressurization step, and the height regulation step of the powder 30 may be applied as a series of operation along with the movement of the moving equipment 80.

[0070]

[Effect of the Invention]

In the production method of shaped parts with three-dimensional form concerning the present invention, by applying steps of: (b) applying vibration; and (c) applying pressure to a powder material fed to a shaping region, the powder

material layer becomes the state having a few spaces, and then by applying step of (d) irradiating an optical beam, the finally obtained shaped part with three-dimensional form also becomes dense.

[0071]

In step (d), if the shaping region is a non-oxidizing atmosphere, the oxidation of powder material can be prevented. If the shaping region is maintained in positive pressure to the exterior space, it can prevent air from being brought into the shaping region to obstruct sintering the powder material. In step (b), if a member composing the shaping region can be vibrated, it can locate a vibrating member on the open surface of the shaping region to apply vibration generated by a vibrating member to powder material, vibration generated by an ultrasonic vibrator can be applied, and vibration generated by an eccentric rotary body can be applied to powder material, vibration can be applied efficiently.

[0072]

In step (c), if a pressurizing member is located on the open surface in the shaping region, whereby the pressurizing member can press powder material to apply pressure thereon, pressure can be applied efficiently. If step (c) can include steps: (c-1) applying pressure by moving pressurizing member; and (c-2) regulating the height position of powder material with a height regulating member, efficient pressurization and height regulation can be applied to the powder material layer.

[0073]

In step (c), if the pressure can be regulated based on detective information of a pressure sensor, it can pressurize efficiently with appropriate pressure. In step (a), if powder material with a plurality of types of different particle size can be fed, variations can be provided to characteristics of the obtained shaped part. If one type of the plurality of powder materials can be a relatively fine powder material of average particle size of 5 to 10 μm , and another type is a relatively coarse powder material of average particle size of 20 to 40 μm , both characteristics can be combined to bring them out.

[0074]

In step (a), if it can include steps: (a-1) feeding the powder material of relatively coarse particle size; and (a-2) feeding the powder material of relatively fine particle size after step (a-1), both characteristics can be combined well. In step (a), if it can include steps: (a-3) feeding mixed powder of the powder material of relatively coarse particle size and the powder material of relatively fine particle size; and (a-4) feeding the powder material of relatively fine particle size after step (a-3), the surface of the powder material layer can be compacted and smoothed.

[0075]

In step (a), if the plurality of powder material types having different particle size and quality of material can be fed, and particularly, one type of the plurality of powder materials can be a powder material of relatively coarse particle size comprising any one or more materials selected from the group of copper, bronze, and phosphor copper, and another type can be a powder material of relatively fine particle size comprising any one or more materials selected from the group of iron and nickel, effects of combination of characteristics due to the difference of particle size and quality of material can be brought out.

[0076]

If one type of the plurality of powder materials can have a relatively fine particle size and low melting point, and another type can have a relatively coarse particle size and high melting point, the fine powder material that is melted and has lower melting point fills the spaces between the coarse powders that are not melted and has a higher melting point, and thus a fused and integrated shaped part can be obtained.

[Brief Description of the Drawings]

Fig. 1 is a typical process drawing showing the first step among production steps that are embodiments of the present invention.

Fig. 2 is a schematic process drawing of a powder-feeding step.

Fig. 3 is a schematic process drawing of a vibrating step.

Fig. 4 is a schematic process drawing of a pressurization step.

Fig. 5 is a schematic process drawing of a height regulation step.

Fig. 6 is a schematic process drawing of a laser irradiation step.

Fig. 7 is a schematic diagram showing a form change of a powder material layer.

Fig. 8 is a cross-sectional view showing another embodiment.

Fig. 9 is a front view (a) and a side view (b) showing structure of an eccentric rotary body.

Fig. 10 is a cross-sectional view showing another embodiment.

Fig. 11 is a cross-sectional view showing another embodiment.

Fig. 12 is a schematic cross-sectional view showing an embodiment stepwise.

Fig. 13 is a schematic cross-sectional view showing an embodiment stepwise.

Fig. 14 is a schematic cross-sectional view showing an embodiment stepwise.

Fig. 15 is a schematic cross-sectional view showing an embodiment stepwise.

Fig. 16 is a cross-sectional view showing another embodiment.

Fig. 17 is a cross-sectional view showing another embodiment.

[Explanation of Symbols]

10 Shaping frame

12 Shaping base

14 Support plate

16 Regulation plate

20 Vibrating part

22 Vibrating device

30 Powder material

31, 31a, 31b Powder

32 Hardened layer

34 Unhardened powder

36 Powder material layer

40 Pressurizing plate

42 Pressure sensor

46 Transparent plate

50 Laser beam

Continued from the front page

(72) Inventor Seizo Machida

c/o Matsushita Electric Works, Ltd.

1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan

(72) Inventor Satoru Abe

c/o Matsushita Electric Works, Ltd.

1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan

(72) Inventor Noboru Urata

c/o Matsushita Electric Works, Ltd.

1048, Ooaza Kadoma, Kadoma City, Osaka Japan

F terms (reference)

4F213 AA44 AB16 AC04 WA25 WB01

WK01 WK05 WL03 WL12 WL24

WL26 WL34 WL67 WL96

4K018 AA04 AA08 AA29 BA02 BA04

BA13 BB04 CA05 EA21 HA08

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.